

Mogućnost ocjenjivanja gorivosti drvnih materijala pomoću kisikova indeksa

POSSIBILITY OF EVALUATING COMBUSTIBILITY OF WOODEN MATERIALS BY MEANS OF OXYGEN INDEX

Prof. dr Vladimir Bruči, dipl. ing.

UDK 630*843:630*832.282

Marijan Ivančić, dipl. ing.

Prilježeno: 12. listopada 1985.

Stručni rad

Prihvaćeno: 18. prosinca 1985.

Sažetak

Summary

Prikazana je jednostavna metoda za ocjenjivanje reakcije na vatru drva i ploča na bazi drva. Kao temelj poslužio je opsežan rad R. H. Whitea, koji je tu metodu prvi preuzeo iz područja plastičnih masa, sveobuhvatno je ispitao i predložio za primjenu kod ispitivanja drvnih materijala.

U ovom radu autori daju rezultate svojih ispitivanja koji se dobro podudaraju s rezultatima iz literature, čime je ujedno potvrđena mogućnost primjene te metode za ispitivanje drva i drvnih materijala.

Metoda se može koristiti za procjenjivanje indeksa širenja plamena i gubitka mase (po raznim metodama), jer je R. H. White dao i rezultate komparativnih ispitivanja čiji su rezultati prikazani grafički.

Ključne riječi: kisikov indeks — širenje plamena — gubitak mase

A simple method for evaluating the reaction of wood and wood based panels to fire is presented. The basis was the comprehensive work by R. H. White who first took this method from the field of plastic masses, studied it thoroughly and suggested its application in testing wooden materials.

In this paper the authors give the results of their research which correspond to the results from literature thus confirming the possibility of applying this method for testing wood and wooden materials.

The method can be applied for evaluating flame spread index and the loss of mass (by various methods), since R. H. White also gave the results of comparative investigations whose results are graphically shown.

Key words: oxygen index — flame spread — loss of mass

UVOD

Prema White, R [25], metodu ocjenjivanja gorivosti polimernih materijala pomoću kisikova indeksa razvili su Fenimore i Martin [9—11], radi istraživanja i kontrole kvalitete. Prilikom preliminarnih istraživanja odredili su kisikov indeks za mnoge materijale [14, 15].

Ovu metodu prvi je pokušao primijeniti R. H. White [1, 25] za drvene materijale tretirane i netretirane vatrozaštitnim sredstvom (ASIM D 2863-76), radi određivanja:

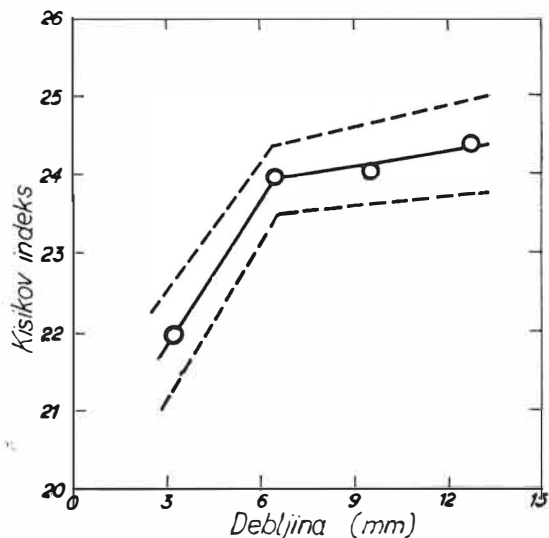
1. rasipanja vrijednosti i koeficijenta varijacije kisikova indeksa,
2. osjećaja gustoće, sadržaja vlage i debljine uzorka za ispitivanje na dobivene rezultate (sl. 1. i 2).
3. odnos kisikova indeksa prema drugim postupcima kojima se određuje gorivost materijala (sl. 3. i 4. i tablica II).

Neke vrijednosti kisikova indeksa, prema R. H. White [25], poznate iz literature, prikazane su u

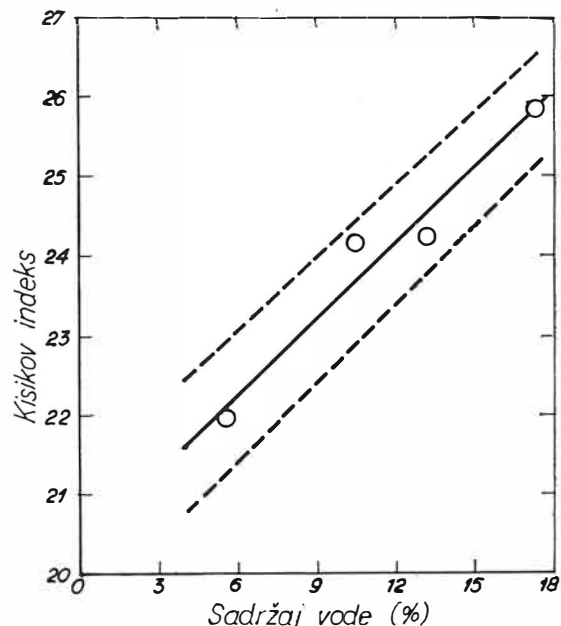
tablici I. Kisikov indeks je minimalni postotak kisika potrebnog za održavanje gorenja plamenom uzorka kod specifičnih laboratorijskih uvjeta. Kako su uzroci potrebni za ovaj test relativno mali, a rezultati testa numerički i krajnje decidirani, test je našao primjenu u ispitivanjima drvnih proizvoda.

U istraživanjima R. H. White-a [25], prilikom određivanja kisikovog indeksa korišteni su uzorci iz borovine i furnirskih ploča, netretiranih i tretiranih vatrozaštitnim sredstvom, i vođeno je računa o različitim sadržajima vlage i smjeru vlakanaca.

Kisikov indeks dobiven s uzorcima iz furnirske ploče uspoređen je s podacima dobivenim ispitivanjem drugim metodama (ognjena cijev, modificirani Schlyter-ov test i 8-stopa tunelska peć). Dobivene su vrijednosti kisikovog indeksa, za netretirane i tretirane uzorke, koje su se kretale od 21,7 do 78,6⁰%, s prosječnim koeficijentom varijacije 2% [25].



Slika 1 — Utjecaj debljine uzorka na vrijednost kisikova indeksa. Uzorci širine 6,4 mm bili su izrađeni od borovine. (Puna linija označava srednje vrijednosti, a crtkana srednje vrijednosti \pm standardna devijacija). R. H. White [25]



Slika 2 — Vrijednosti kisikova indeksa povećavaju se linearno s povećanjem sadržaja vlage. (Puna linija predstavlja srednje vrijednosti, crtkana linija srednje vrijednosti \pm standardna devijacija). R. H. White [25]

KISI KOV INDEKS ZA DRVO I DRVNE PROIZVODE [25]

Tablica I

Materijal	Kisikov indeks	Izvor (autor)
Breza	20,5	15
Hrast	22,7	15
Bor	20,9	23
Javor	21,2	23
Bor, Francuska	22,4	14
Topola, Francuska	22,5	14
Hrast, Francuska	24,6	14
Vlaknatica, Francuska	22,1	14
Iverica, Francuska	24,5	14
Furnirska ploča	19,7	14
Furnirska ploča, Francuska	25,4	14
Furnirska ploča, FR, Francuska	73,6	14
Ljepenka, Francuska	24,7	14
Papirnati ručnici tretirani sa 16% amonij-hidrogenfosfatom		
— jednostruko	40,4	4
— dvostruko	49,4	4

Kisikov indeks se općenito priznaje kao indikator koji dobro karakterizira reakciju materijala na vatru. Treba ipak istaknuti da na rezultate mogu utjecati neke modifikacije u postupku ispitivanja. Kod standardnog ispitivanja (poput svijeće) upali se gornji dio uzorka. Manji kisikov indeks dobija se ako se kod ispitivanja početno upali donji kraj uzorka [4]. U jednom primjeru, kod kojeg je uzorak bio izrađen od papirnato g ručnika tretiranog 16% amonij-dihidrogenfosfatom, rezultat je pao od 49,6 na 29% [4], kako to navodi R. H. White [25].

KOMPARATIVNA TABLICA NUMERIČKIH REZULTATA KISI KOVOG INDEKSA I BRZINE ŠIRENJA PLAMENA

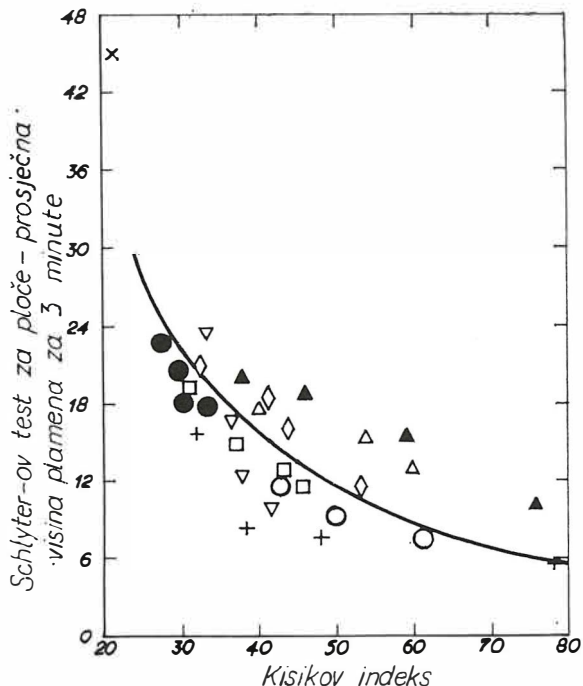
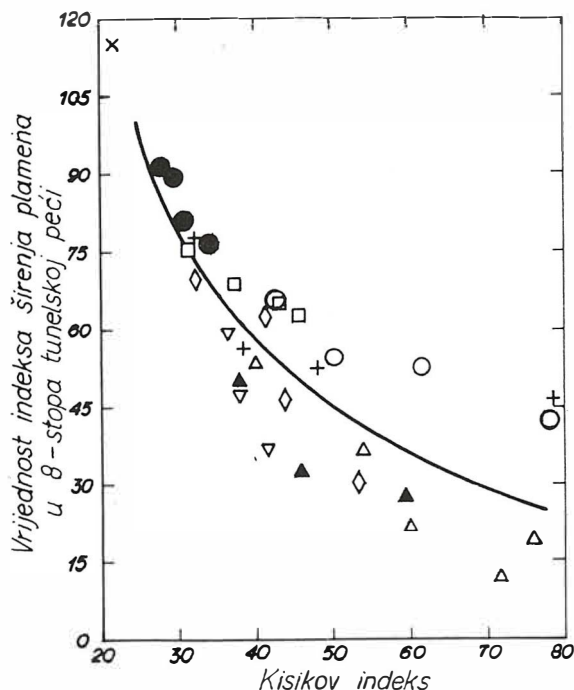
Tablica II

Materijal	VZS	Kisikov indeks	Indeks širenja plamena
Šindra iz crvene cedrovine	Neko-mercijalno sredstvo	60—65	25
Američka duglazija	Drikon	65—67	25
Furnirska ploča	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	68—70	25

Nadalje R. H. White ističe da kisikov indeks ovisi o debljini ili presjeku uzorka [9; 16], te o smjeru drvnih vlaknaca (prema Rasbach i Langford-u indeks iznosi 13,2 odnosno 19%). No, najvažniji faktor za određivanje kisikova indeksa je temperatura uzorka i plinske smjese [6; 9; 13]. Johnson [17] je određivao kisikov indeks polimernih materijala i zaključio da će on iznositi:

92; 78 i 55% od kisikova indeksa pri temperaturama uzorka 25^o C, kada je temperatura plinske smjese: 100^o; 200^o i 300^o C.

Kisikov indeks ili granični kisikov indeks je minimalni postotak kisika u smjesi plinova kisika i dušika potreban da održava gorenje uzorka plamenom, kod određenih laboratorijskih uvjeta.



LEGENDA ZA SLIKE 3 I 4 :

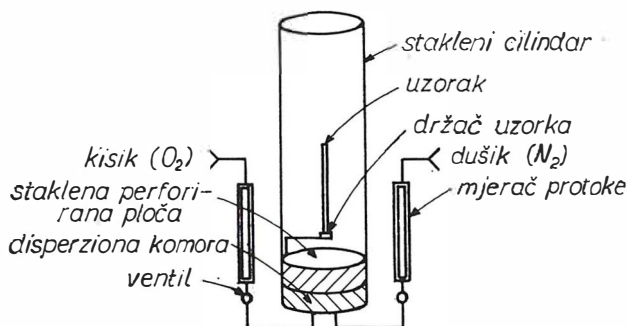
- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| ▽ Amonij-sulfat | ▲ Amonij-polifosfat (11-37-0) |
| + Natrij-tetaborat-dekahidrat | ◇ Cink-klorid |
| ○ Dinatrij-oktaborat-tetrahidrat | ● Natrij-dikromat |
| □ Ortoboratna kiselina | × Netretirana |
| △ Amonij-dihidrogenfosfat | |

Slika 3 — Odnos između vrijednosti kisikova indeksa i širenja plamena u 8-stopa dugoj tunelskoj peći. R. H. White [25]

Slika 4 — Odnos između vrijednosti kisikova indeksa i modificiranog Schlyter-ovog testa (prosječne visine plamena za 3 minute). R. H. White [25].

2. APARATURA I POSTUPAK

Shematski prikaz aparature za određivanje kisikovog indeksa, prema R. H. White, prikazan je na sl. 5. Tom aparaturom omogućeno je gorenje uzorka kao svijeće u struji smjese kisika i dušika. Prilikom ispitivanja uzorak je učvršćen u sredini osnovice staklenog valjka. Pomoću ventila podešava se željena početna koncentracija kisika i količine protoka.



Slika 5 — Skica uređaja za određivanje kisikova indeksa.

Kisik i dušik kroz filter ulaze u unutrašnjost staklenog valjka, pri čemu se miješaju i ravnomjerno raspodjeljuju po presjeku valjka. Uzorak se pali plinskim plamenikom.

Koncentracija kisika je veća od kisikovog indeksa ako uzorak gori plamenom najmanje 3 minute nakon što je pomoćni plamenik odstranjen, ili ako pri tom izgori u dužini većoj od 50 mm. Recipročno tome je koncentracija kisika manja od kisikovog indeksa. Postupak se ponavlja dok se ne postigne najmanja koncentracija kisika kod koje su zadovoljeni gornji uvjeti.

ASTM Standard D 2863-76 [1] zahtijeva da se razlika između graničnih koncentracija smanji na 0,2% ili manje. Čitav postupak se ponavlja tri puta, s brzinom strujanja plinova 3 do 5 cm/s. U izvještaj se unosi srednja vrijednost tih triju ispitivanja.

3. ISPITIVANJA I REZULTATI

3.1. Masivno drvo

R. H. White [25] je ispitivao devet tipova uzoraka izrađenih iz borovine da bi ustanovio rasipanje rezultata kod određivanja kisikovog indeksa

PARAMETRI RAZLIČITIH TIPOVA UZORAKA
ZA ISPITIVANJE [25]

Tablica III

Tip	Odstupanje od standarda (1)
1.	Standardni uzorak
2.	Debljina uzorka 6,4 mm
3.	Debljina uzorka 9,5 mm
4.	Debljina uzorka 12,7 mm
5.	Kondicioniranje na 170 C i 65% relativne vlage zraka (na 11 ⁰ / ₀)
6.	Kondicioniranje na 170 C i 80% relativne vlage zraka (na 13 ⁰ / ₀)
7.	Kondicioniranje na 170 C i 90% relativne vlage zraka (na 17 ⁰ / ₀)
8.	Smjer vlakana okomit na dužinu uzorka

(1) Uzorci ispitivani u tabeli III bili su veći od standardnih.

za drvo. Uzorci su bili izrađeni od devet netretiranih piljenica iz bjeljike borovine, te nasumice razvrstani u jednu grupu netretiranih i dvije gru-

pe tretiranih uzoraka. Tretiranim uzorcima dodano je 43, 2, odnosno 126,5 kg/m³ anrovij-dihidrogenfosfata. Impregnacija uzorka izvršena je pod pritiskom. Zatim su uzorci sušeni na zraku i kondicionirani pri 17⁰ C i relativnoj vlazi zraka 30⁰/₀. Dimenzije uzoraka bile su 3 × 6,5 × 70—150 mm. U ispitivanju raznih faktora koji utječu na ispitivanje analiziran je smjer vlakana, sadržaj vode i debljina uzorka. Za to su poslužili netretirani uzorci (tab. III).

Tablica IV. prikazuje rezultate ispitivanja kisikovog indeksa na spomenutim netretiranim i tretiranim uzorcima, kako ih je dobio R. H. White [25] u svojim istraživanjima.

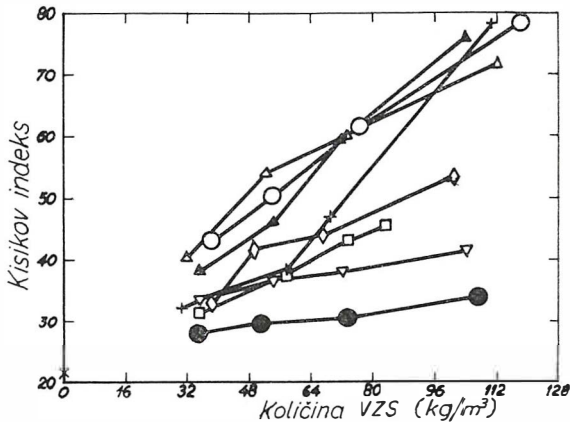
3.2 Furnirske ploče

R. H. White [25] je istraživao i kisikov indeks za furnirske ploče, tretirane raznim VZS i za četiri nivoa tretiranja. Posebna pažnja posvećena je određivanju uzoraka tretiranih s osam VZS, koja su dodana u različitim količinama. Smjer vlakana vanjskih listova furnira furnirskih ploča bio je

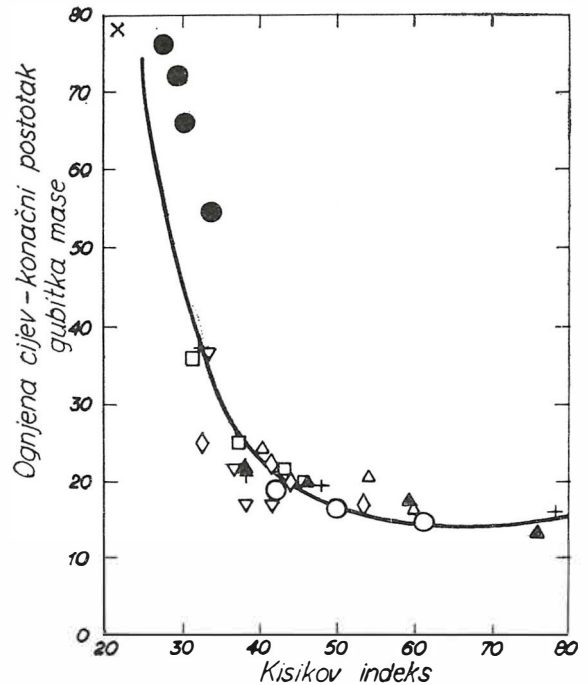
VARIJABILITET KISIKOVA INDEKSA R. H. WHITE [25]

Tablica IV

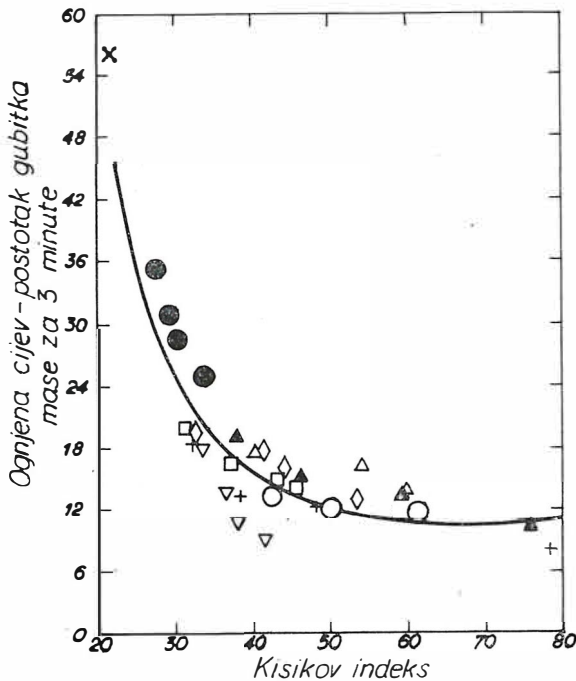
Piljenica Broj	Količina VZS kg/m ³	Serija I		Serija II		Serija III	
		Srednja vrijednost	Standardna devijacija	Srednja vrijednost	Standardna devijacija	Srednja vrijednost	Standardna devijacija
Netretirani uzorci							
1.	—	23,3	0,8	22,8	0,4	22,7	1,1
2.	—	23,7	1,6	23,5	2,1	23,6	0,9
3.	—	22,5	0,9	22,2	0,9	22,0	1,2
4.	—	23,6	1,3	24,5	0,8	24,1	0,5
5.	—	25,3	0,9	25,8	0,8	25,1	0,5
6.	—	23,5	0,8	24,2	1,5	23,5	0,9
7.	—	23,9	1,6	23,7	0,8	23,7	0,7
8.	—	23,4	0,2	22,6	0,2	23,1	0,5
9.	—	23,6	1,0	23,8	0,9	23,5	0,9
Uzorci tretirani manjom količinom VZS							
1.	38,9	31,0	1,0	30,5	1,7	30,0	1,6
2.	45,3	35,6	1,4	35,5	6,5	37,3	2,4
3.	44,5	35,5	4,1	35,9	1,6	31,2	24,5
4.	43,2	45,8	4,6	42,2	2,1	40,6	2,6
5.	44,4	50,7	4,2	46,8	9,2	43,0	3,4
6.	42,0	43,5	22,1	38,1	5,8	37,3	2,7
7.	46,5	37,9	3,3	36,9	3,3	38,3	5,7
8.	46,8	47,9	2,2	40,5	2,5	39,9	2,1
9.	43,2	36,1	2,7	34,1	4,2	35,9	7,5
Uzorci tretirani većom količinom VZS							
1.	110,2	63,9	0,9	63,0	2,4	60,2	2,7
2.	130,4	78,7	2,0	76,9	0,8	77,0	0,5
3.	131,0	67,2	2,2	67,9	1,4	65,7	7,2
4.	129,8	76,4	3,5	76,9	15,6	77,9	7,0
5.	129,1	72,3	24,9	75,7	1,4	76,3	6,1
6.	121,9	65,5	6,5	65,3	2,1	65,5	5,6
7.	138,2	74,6	3,5	76,8	13,9	80,6	4,0
8.	133,6	75,7	1,2	78,1	2,3	79,6	1,4
9.	120,6	60,0	1,9	60,3	1,8	60,6	2,7



Slika 6 — Kisikov indeks za šperploču koja je tretirana s 8 različitih vatrozaštitnih sredstava. Kisikov indeks za netretiranu šperploču bio je 21,7. R. H. White [25]



Slika 8 — Kisikov indeks u odnosu na konačni postotak gubitka mase. R. H. White [25]



Slika 7 — Kisikov indeks u odnosu na maksimalni gubitak mase za 3 minute. R. H. White [25]

LEGENDA ZA SLIKE 6, 7 I 8:

- ▽ Amonij-sulfat
- + Natrij-tetraborat-dekahidrat
- Dinatrij-oktaborat-tetrahidrat
- Ortoboratna kiselina
- △ Amonij-dihidrogenfosfat
- ▲ Amonij-polifosfat (11-37-0)
- ◇ Cink-klorid
- Natrij-dikromat
- × Netretirana

slije tretmana VZS. Kondicioniranje uzoraka vršeno je pri 26,6° C i 30% relativne vlage. Potom je pristupljeno određivanju kisikova indeksa za svaku pojedinu kemikaliju i nivo tretmana, testirajući po tri grupe uzoraka (svaka grupa imala je 6—9 uzoraka) pri koncentracijskim intervalima smjese plinova od 1,0%. Rezultati istraživanja R. H. Whitea [25] prikazani su na slici 6. Na slici 7. i 8. uspoređene su vrijednosti kisikova indeksa s vrijednostima iz drugih postupaka određivanja gorivosti furnirskih ploča (indeks širenja plamena i modificirani Schlyterov test).

2.3 Kisikov indeks za domaće netretirane ploče od drva

Isto su postupili autori pri ispitivanju uzoraka ploča iverica, MDF-ploča, furnirskih ploča i vlaknatica. U ogleđnim testovima korišteni su uzorci standardnih proizvoda domaće industrije, netretirani VZS (vatrozaštitnim sredstvima). Rezultati su uvršteni u tablicu V.

paralelan s dužinom uzorka. Korištena su slijedeća vatrozaštitna sredstva:

1. natrij tetraborat dekahidrat,
2. dinatrijum oktaborat tetrahidrat,
3. borna kiselina,
4. primarni kiseli amonij fosfat,
5. amonij fosfat,
6. cink klorid,
7. amonij polifosfat, 17-37-0,
8. natrij bikromat.

Nivoi tretmana izračunavani su iz koncentracije otopine i mase uzorka neposredno prije i po-

EKSPERIMENTALNO ODREĐENI KISIKOVI
INDEKSI ZA DOMAĆE PLOČE IVERICE,
MDF I FURNIRSKE PLOČE TE VLAKNATICE

Tablica V

Uzorak	Debljina uzorka (mm)	Kisikov indeks (%)
1. Iverica	14,0	23,3
2. MDF ploča	14,0	22,4
3. Furnirska ploča	6,1	23,4
4. Vlaknatice	3,0	19,5

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Eksperimentalni podaci i podaci iz literature pokazali su da se ovom metodom mogu dobiti pouzdane informacije o gorivosti uzoraka iz drva i drvnih ploča, tretiranih i netretiranih vatrozaštitnim sredstvima.

Postupak se pokazao pogodnim u istraživačkim i razvojnim procesima, kao i u kontroli kvalitete drvnih proizvoda.

LITERATURA

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1977. Standard method for measuring the minimum oxygen concentration to support candle-like combustion of plastics (oxygen index). Stand. Design. ASTM D 2863-76. Book of ASTM Stand. Part 35. Philadelphia, Pa.
- [2] ASTM. 1977. Standard test method for combustible properties of treated wood by the fire-tube apparatus. Stand. Desig. ANSI/ASTM E 69-50 (Reapproved 1975) Annu. Book of ASTM Stand. Part 18. Philadelphia, Pa.
- [3] ASTM. 1977. Standard test method of surface flammability of building materials using an 8-foot (2,44 m) tunnel furnace. Stand. Design. ASTM E 286-69 (Reapproved 1975) Annu. Book of ASTM Stand., Part 18. Philadelphia, Pa.
- [4] Arcand, C. G., Jr and W. J. Yullo, 1972. The bottom ignition oxygen index test. Text. Res. J. (42) 6:328-330.
- [5] Brauman, Aharon K. 1977. Effect of sample temperature on combustion performance of polymers. J. Fire & Flammability 8 (Apr): 216-223.
- [6] Dipietro, Joseph and Heinrich Stepniczka, 1971. A study of smoke density and oxygen index of polystyrene, ABS, and polyester systems. J. Fire & Flammability 2 (Jan); 36-52.
- [7] Dixon, W. J. and Messey Jr 1969. Introduction to Statistical Analyses 3d ed. Mc Graw-H. U., New York, N. Y.
- [8] Eickner, W. W., and E. L. Schaffer 1967. Fire retardant effects of individual chemicals on Douglas-fir-plywood. Fire Tech. 3(2):30-104.
- [9] Fenimore, C. P. and F. J. Martin, 1972. Burning of polymers. The Mech. of Pyrolysis, Oxidation and Burning of Org. Mater., Natl. Bur. of Stand. Spec. Publ. 357. Washington, D. C.
- [10] Fenimore, C. P. and F. J. Martin, 1966. Candle-type test for flammability of polymers. Mod. Plast. 44 (3):141-148, 192.
- [11] Fenimore, C. P. and F. J. Martin, 1966. Flammability of polymers. Combust & Flame 10:135-139.
- [12] Forest Products Laboratory 1959. Fire test methods used in research at the F.P.L. USDA Forest Prod. Lab. Rep. No 1443. Madison, Wis.
- [13] Hendrix, J. E., J. V. Beninate, G. L. Drake Jr. and W. A. Eeeyes 1972. Enoirnmental temperatures and exygen index (OI) values for textile fabrics. J. Fire & Flammability 3 (Jan):2-17.
- [14] Hilado, C. J. 1974. Flammability Handbook for Plastics, 2d ed. Technomic Poubl. Co. Westport, Conn.
- [15] Isaacs, J. L. 1970. The oxygen index flammability test. J. Fire & Flammability 1 (Jan):36-47.
- [16] Isaacs, J. L. 1970. The oxygen index flammability test. Mod. Plast. 47(3):124-130.
- [17] Johnson, P. R. 1974. A general correction of the flammability of natural and synthetic polymers. J. Appl. Polymer Sci. 18(2):491-504.
- [18] Kanury, A. M. 1975. Theoretical analysis of fire and flammability tests — the limiting oxygen index test. Fire Saf. of Combust. Mater Int. Symp. Univ. Edinburgh. Scotland Oct. pp. 187-198.
- [19] Manley, T. R. and Sidebotham 1977. Flammability and smoke measurements on glass reinforced polyester resins. Fire Res 1:97-100.
- [20] Martin, F. J. 1968. A model for the candle-like burning of polymers. Combust & Flame 12:125-135.
- [21] Matthews, R. D. and Sawyer 1976. Limiting oxygen index measurement and interpretation fire an opposed flow diffusion flame apparatus. J. Fire & Flammability 7 (apr):200-216.
- [22] Rasbash, D. J. and B. Langford 1968. Burning of wood in atmosphere of reduced oxygen concentration. Combust. & Flame 12:33-40.
- [23] Tsychiya, Y. and K. Sumi 1974. Smoke — producing characteristics of materials. J. Fire and Flammability 5 (Jan):64-75.
- [24] Laufenberg, T., Le Van. S. and Bruči, V. 1984. Preliminary investigation of fire-retardant treatments for flakeboards, USDA. For. Prod. Lab. Office Report, Madison Wis.
- [25] White, R. H., 1979. Oxygen index Evaluation of fire retardant — Treated wood, Wood Science. Vol. 12, No 2-113-121.

Recenzent: St. B.

ISPRAVAK

U članku prof. Z. Pavlina: »Procesi kretanja vode u drvu« na str. 292. broja 11—12/1985. »Drvene industrije« omaškom je pri slaganju pogrešno otisnuta riječ na kraju članka: »najslabije stanje«, umjesto ispravnog »najstabilnije stanje«. Zadnja rečenica u članku glasi ispravno ovako: »Potencijalni nivo vezane vode u staničnim stijenkama najniži je i predstavlja najstabilnije stanje.«

Ispričavamo se zbog greške autoru i čitateljima.

Uredništvo